

전기철도에서 발생하는 전자계

(The electromagnetic field occurring in an electrical railroad)

김동철*

(Dong-Cheol Kim)

Abstract

The appropriateness or in appropriateness for the standard value and presentation problem after measuring the electromagnetic field occurring in an electrical railroad.

1. 서론

전 세계 철도망의 13%가 전철화 되었고, 금세기내에 전세계 철도망의 약 40%가 전철화로 건설될 예정이며 우리나라도 2020년까지 전 철도의 82%를 전철화 한다는 계획을 수립하고 사업을 적극 추진중에 있다.[1]

전기철도 시스템을 전자계의 관점에서 살펴보면 변전소와 전차선로 등의 전력계통, 차량이 운행하면서 전차선과 팬터그래프에서 발생하는 아크방전, 변전소의 개폐장치, 전력변환장치의 고조파 성분, 변압기의 유도잡음 등이 예상된다. 이를 주파수에 따라 크게 고주파수 부분과 저주파수 부분으로 나누어 보면, 고주파수 부분은 전차선로와 차량의 팬터그래프 사이의 이선으로 인한 아크방전으로 이는 임펄스성 RF잡음의 복사(Radiation) 문제와 저주파수 부분은 고전압의 저주파수 영역에서 자기장 발생에 의한 신호선로의 유도현상, 인체의 안전성을 생각할 수 있다. 이러한 전기철도 시스템은 전자기파 장애 발생원으로 간주되어 전철노선에 인접한 시설물 또는 주변 환경에 대한 전자기파 영향평가와 근본적인 대책을 요구가 빈번하게 제기되고 있어 전기철도 시스템에서 EMI(Electromagnetic Interference; 전자파 장애) / EMC (Electromagnetic Compatibility; 전자기적 양립성) 문제가 크게 대두되고 있고, 국내에서는 근래에 와서 고속철도 및 기존선 전철화를 시행하면서 전자기파 잡음에 대하여 구체적인 연구하고 있다.[2]

따라서 전기철도에서 발생하는 전자기파를 측정하여 기준치에 적합 여부를 확인하고 문제점을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1. 전기철도에서의 전자기파 잡음

최근에 전기, 전자기기의 고출력화, 고기능화가 진행되고 그것들이 상호 서로 간섭할 우려가 생겨나고 있다. 이러한 EMC 문제는 각종 전기, 전자기기의 출력과 내성의 밸런스를 고려된 설계가 요구되게 되었다. 또한, 이러한 기기에 있어서의 EMC는 방사되는 전자계의 제한값을 설정하고 견딜 수 있는 레벨을 규정한 기준화의 움직임으로 진행되고 있는 것이 현 상황이다.

이러한 현 상황에서 각종 전기, 전자기기를 탑재하고 있는 철도에 대해서도 각 기기의 EMC뿐만 아니라 시스템으로서의 EMC가 요구되는 시대가 되고 있다.

2.1.1. 전자파 잡음 발생원

2.1.1.1. 고정설비에 의한 발생원

전철설비에 의한 전파잡음의 주요 발생개소로서는 전차선로, 송전선로, 전철변전소, 급전구분소 등이 있다.

전차선로에서는 애자 오염에 의한 방전, 금속동사의 접촉불량에 의한 방전, 전선표면에서의 방전 등이 전파잡음의 원인이 되고,

전철변전소와 급전구분소 등에서는 개폐기와 차단기의 동작에 의해 전파잡음이 발생하는 일이 있다. 변전관련 기기에서는 각종 고압대책을 세우고 있기 때문에 방사되는 전파잡음강도는 환경 레벨과 동일한 정도 이하인 경우가 많다.

2.1.1.2. 차량자체에 의한 발생원

차량자체의 전파잡음원으로서의 차상의 각종 전기기기(조명, 공조 등) 차상의 전력변환기기, 차상의 각종 배선부 등을 들 수 있는데 이 각 기기단체에 대해서는 전파잡음이 방사되지 않도록 방지대책을 세우는 경우가 많다. 그러나 기기단체마다 문제가 없어도 차량이라는 시스템으로서 편성할 때에 위장 상태에 의해서는 예상외의 전파잡음이 발생하는 일이 있다. 특히 최근, 차상에 탑재되어 있는 전력변환기기의 고효율화·고속화에 의해 전파잡음이 발생하는 가능성이 높아지고 있다.

2.1.1.3. 열차주행에 수반하는 발생원

열차의 주행에 수반하여 생기는 전파잡음의 경우, 열차가 이동함에 따라서 발생원도 이동하기 때문에 전파방해의 현상이 열차의 통과시와 통과 전후에만 발생한다는 특징을 가지고 있다.

분산구동방식의 경우는 팬터그래프와 트롤리선의 이선에 의한 전파잡음이 지배적이 되고, 전기기관차에서 견인하는 방식에서는 차상 탑재기기에서 방사되는 전파잡음이 지배적이 된다고 생각해 왔었다. 그러나 최근에 차상에 VVVF 인버터 등의 전력변환기를 탑재한 차량이 증가하는 것에 수반하여 전차에 입력력되는 전류에 포함되는 고조파성분이 공간에 방사되는 전자파가 지배적이 되는 가능성이 점차 높아지고 있다.

2.1.2. 전기철도 전자기파 기준 및 측정방법

2.1.2.1. 전기철도 전자기파 기준

철도시스템 전반적인 부분에 대한 전자기파 규격인 IEC62236[4]와 정보통신부에서 고시한 전자기파 인체보호기준[3]을 비교하면 그림 1과 같은 전자기파를 측정하기 위하여 IEC62236을 기준으로 하여 이 규격에서 규정한 측정방법과 조건에 따라 측정을 수행하였다. 또한 이 기준은 철도시스템 전반적인 부분과 관련하여 전자기파와 관련된 유일한 규격이며, 이 규격에서 정한 기준을 만족하면 철도시스템 외부에 어떠한 해로운 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 또한 이 기준에서는 9kHz~1GHz까지의 주파수 영역에 대한 측정방법을 규정하고 있는데 이는 1GHz 이상 대역에서 철도로 인해 발생하는 전자기파는 그 발생량이 극히 적을 뿐만 아니라 거리증가에 따른 감쇄가 커서 철도 외부에 영향을 주지 않기 때문이다.

일반 전기/전자기기의 전자기파 발생량을 측정하기 위하여 준첨두치 측정법을 사용하는데 전기철도에서는 이를 훨씬 강화한 첨두치 측정법을 사용한다.

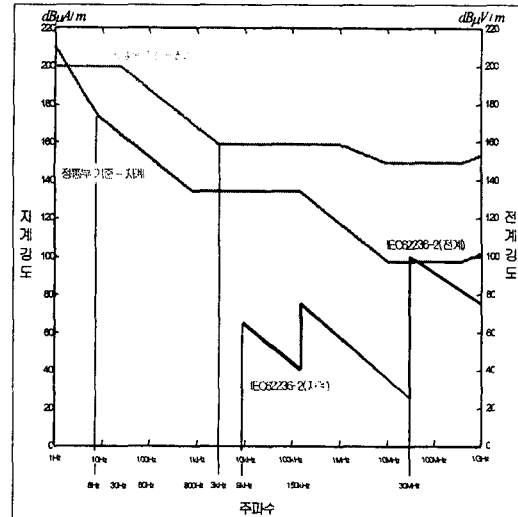


그림 1. 전자기파 관련기준 비교

Fig 1. The comparison with the standard related an electromagnetic wave

2.1.2.2. 측정방법

2.1.2.2.1. 측정 주파수 대역폭

측정 주파수 범위, 대역폭 및 측정항목은 표 1과 같다.

표 2. 측정 주파수 대역폭

Table 1. The band range of the measured frequency

주파수 범위(Hz)	대역폭	측정항목
9k~150k	300Hz	자체
150k~30M	9kHz	자체
30M~1G	120kHz	전계

2.1.2.2.2. 철도 시스템 방사 전자기파 측정시 안테나의 위치

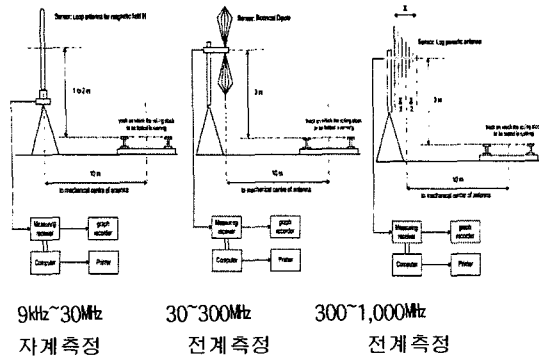


그림 2. 철도시스템 방사 측정시 안테나의 위치
Fig 2. The position of the antenna during measuring the emission of the railroad system

2.1.2.2.3. 측정방법

선로변 발생 전자기파 잡음을 측정하기 위한 측정 방법은 다음과 같다.

- 열차가 측정점 30m 전방에 도달할 경우 측정을 시작한다.
- 열차가 측정점을 통과한 후 측정을 종료한다.
- 침두치로 측정하며, 측정도중의 최고값을 대표 측정값으로 한다.
- 열차가 측정점을 통과하면서 발생하는 전자기 잡음뿐만 아니라 주변의 모든 전자기 환경(무선통신주파수, 방송주파수 및 주변의 잡음 등)이 포함되어 측정되었다. 이는 철도만의 전자기 잡음과 외부의 전자기 환경을 분리할 수 없기 때문이다.

2.2. 전기철도 EMI 측정

2.2.1. 선로변 구배개소 측정

국내 철도환경에서 경사가 심한 개소중의 하나인 중앙선 단성역~죽령역 구간(청량리기점 186.6km)에서 전기기관차가 최대의 전력을 사용하여 경사로를 올라갈 때와 전기제동을 사용하여 경사로를 내려올 때를 구분하여 측정 주파수 대역별로 측정을 하였다.

중앙선 단성역~죽령역 사이 구배구간에서 철도시스템에서 외부로 방사되는 전자기파 잡음을 측정한 결과 전기기관차가 측정점을 통과할 때는 주변잡음과 비교하여 최대 30dB 정도의 전자기파 잡음을 방사하는 것으로 나타났다. 그럼에도 기준에서 정한 선로변 방사기준을 만족시키는 것으로 나타났다. (그림 3)

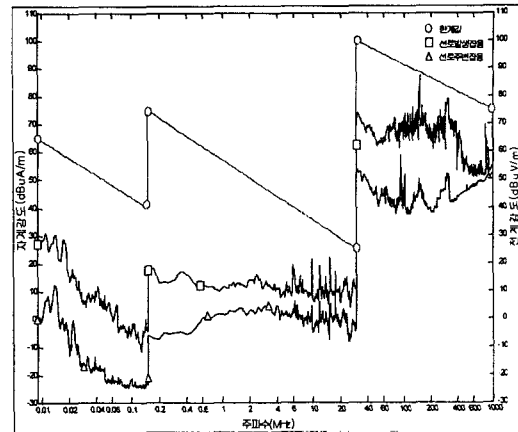


그림 3. 선로변 발생 전자파 잡음

Fig 3. The electromagnetic wave noise occurring around railroad tracks

2.2.2. 측정 전자기파의 거리별 환산

구배개소에서 발생하는 전자기파 잡음(그림 4)을 거리별로 환산(그림 5)하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- 선로 10m지점에서 주변의 전자기 환경을 포함하여 측정한 구배개소의 전자기 잡음 측정값을 모두 철도에서 발생한 것으로 간주.
- 철도 이외의 전자기 잡음 발생원을 없음.

선로에서 측정한 측정값을 일반 전기/전자기에서 방사되는 전자기파를 측정하는 준침두치 방법으로 환산할 경우 20m 이상 이격되면 주변의 전자기 환경과 동일한 것으로 계산되었다.

2.2.3. 절연개소 전자기파 측정

AT 급전방식의 경우 변전소 단과 급전구분소에서 전원을 구분하기 위한 절연개소가 위치하고 있다. 차량의 팬터그래프와 전차선 사이에서 25kV의 고압이 단속되는 이러한 절연개소에서 많은 전자기 잡음의 발생이 예상된다.

한 결과 주변의 전자기 환경과 유사하여 발생하는 전자기 잡음이 없는 것으로 판단된다.

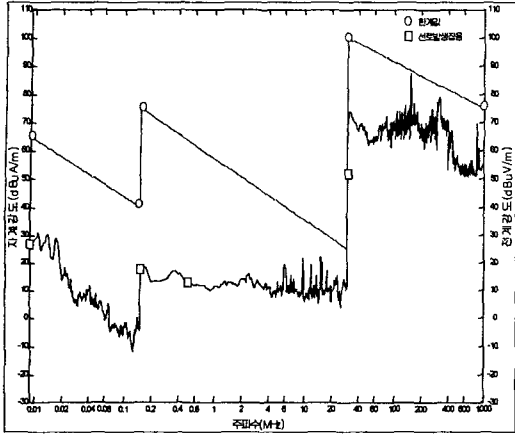


그림 4. 구배개소 전자기파 비교
Fig 4. The comparison with the electro magnetic wave of inclined places

2.2.5. 열차운행상태 및 단전상태의 전자기 환경비교

전차선에 25kV의 고압이 인가된 상태에서 차량이 운행하는 경우와 전차선로에 전압이 인가되지 않은 단전상태의 전자기 환경을 측정하여 그림 7에 비교하였다.

전차선 단전시에 비교하여 전동차가 운행할 때 200MHz이하의 대역에서 최대 15dB정도 전자기 잡음이 발생하는 것으로 측정되었다. 200MHz 이상의 대역에서는 열차운행시 발생하는 전자기 잡음이 주변 잡음과 비슷하며, 이전의 측정결과에서 보였던 800MHz이상 대역의 통신주파수가 보이지 않는다.

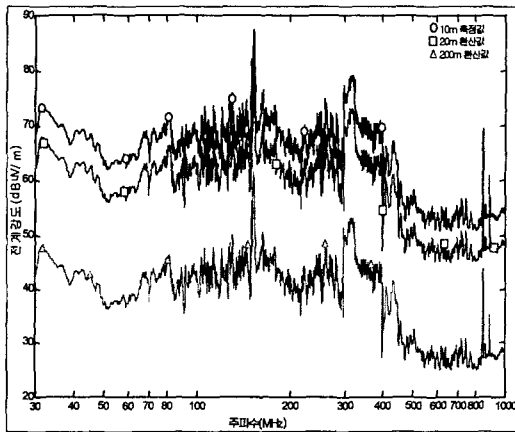


그림 5. 거리별 환산 결과
Fig 5. The result of the conversion classified by distance

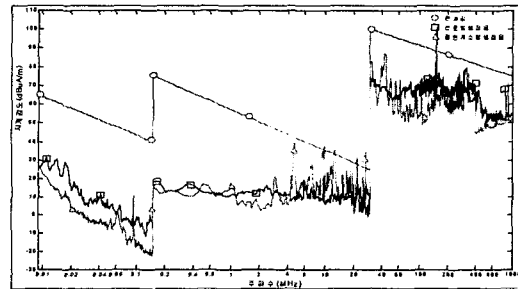


그림 6. 절연구간 발생 전자기파 잡음
Fig 6. The electromagnetic wave noise occurring in a dead-section

절연개소에서 측정결과 IEC62236의 방사기준을 초과하는 것으로 측정되었다.(그림 6) 구배개소와 절연구간의 측정값을 비교할 때 4MHz~60MHz의 대역에서 절연구간에서 전자기 잡음이 더 크게 발생하는 것으로 나타났다.

2.2.4. 전철변전소 주변의 전자기파 측정

변전소에서 외부로 방사되는 전자기 잡음을 측정하고 IEC 62236의 방사한계를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 전철변전소 인입송전선로에서의 전자기환경을 측정

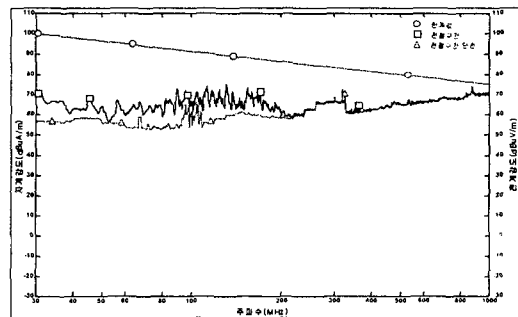


그림 7. 열차 운행 및 단전시 전자기환경 비교
Fig 7. The comparison with the electromagnetic circumstance between in train -running and in cutting-off electricity

2.2.6. 전기차량에서의 전자기파

철도전기차량에서 발생하는 전자기파를 측정하기 위하여 기존의 8000대 전기기관차와 신형 8100대 전기기관차에서 발생하는 전자기파 잡음을 단성역 구내에서 측정하였다. 측정은 차량이 정차한 경우의 정차시험과 서행하는 서행시험으로 나누어 실시하였다.

측정결과 주변잡음, 정차시 발생 전자기 잡음과 서행시 발생하는 전자기 잡음의 측정값이 유사함을 알 수 있다. (그림 8 및 그림 9) 650MHz 이상의 대역에서 발생 전자기 잡음을 측정된 결과가 기준의 방사한계를 초과하고 있지만 이는 주변의 전자기 환경이 기준을 초과하고 있기 때문이며, 전기기관차에서 발생하는 전자기 잡음과 주변환경의 전자기 환경이 거의 유사하므로 전기기관차에서 발생하는 전자기파는 없는 것으로 판단된다.

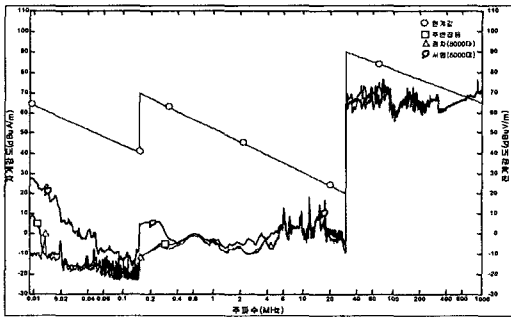


그림 8. 8000대 전기기관차 발생 전자기파 측정결과
Fig 8. The result measuring the electromagnetic wave to occur from a number 8000 locomotive of KNR

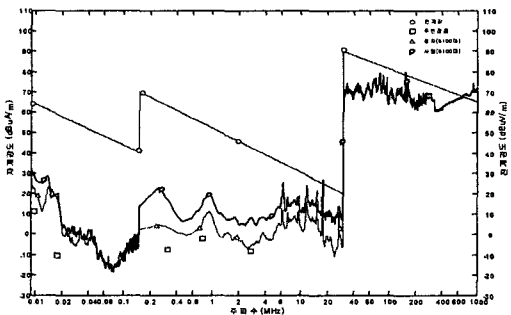


그림 9. 8100대 전기기관차 발생 전자기파 측정결과
Fig 9. The result measuring the electromagnetic wave to occur from a number 8100 locomotive of KNR

2.3. 전자기파 측정결과

지금까지 전자기파 측정결과를 정리하면 다음과 같다.

- 중앙선 단성역~죽령역 사이 구배구간에 철도시스템에서 외부로 방사되는 전자기파 잡음을 측정된 결과 전기기관차가 측정점을 통과할 때는 주변잡음과 비교하여 최대 30dB 정도의 전자기파 잡음을 방사하는 것으로 나타났으나, 철도시스템 발생 전자기잡음의 방사한계 기준(IEC 62236)을 만족시키는 것으로 나타났다.

- 철도에서 발생하는 전자기파의 세기를 거리별로 환산한 결과 선로 중심에서 200m 이상 이격되면 철도시스템에서 발생하는 전자기 잡음은 공항주변의 전자기 환경 이하가 되는 것으로 계산되었다. 선로에서 측정된 값을 일반 전기/전자기기에서 방사되는 전자기파를 측정하는 준첨두치 방법으로 환산할 경우 20m 이상 이격되면 주변의 전자기 환경과 동일한 것으로 계산되었다.

- 절연구간에서 발생하는 전자기 잡음을 구배개소의 측정값을 비교할 때 4MHz~60MHz의 대역에서 절연구간에서 전자기 잡음이 더 크게 발생하며, 철도시스템 발생 전자기 잡음의 방사한계(IEC62236)를 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 절연구간에서 발생하는 전자기 잡음을 줄이기 위한 대책, 예를 들어 잡음저감용 절연구분장치와 같은 대책설비가 필요하다.

- 철도전기차량에서 발생하는 전자기 잡음을 측정된 결과 주변잡음, 정차시 발생 전자기 잡음과 서행시 발생하는 전자기 잡음의 측정값이 유사함을 알 수 있다. 650MHz 이상의 대역에서 발생 전자기 잡음을 측정된 결과가 기준의 방사한계를 초과하고 있지만 이는 주변의 전자기 환경이 기준을 초과하고 있기 때문이며, 전기기관차에서 발생하는 전자기 잡음과 주변환경의 전자기 환경이 거의 유사하므로 전기기관차에서 발생하는 전자기파는 없는 것으로 판단된다.

- 변전소에서 외부로 방사되는 전자기 잡음을 측정된 결과 IEC 62236의 방사한계를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 전철변전소 인입송전선로에서의 전자기환경을 측정된 결과 주변의 전자기 환경과 유사

하여 발생하는 전자기 잡음이 없는 것으로 판단된다.

3. 결론

전기철도시스템에서 발생하는 전자기파 잡음을 측정하여 관련 기준(IEC62236)의 방사기준과 비교 검토하였다. 검토 결과 구배개소, 전기차량, 변전소 및 송전선로에서의 발생하는 전자기파 잡음은 모두 방사기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 절연개소 발생 잡음의 경우 기준치를 초과하였고, 차량에서 발생하는 전자기파는 주변 잡음과 비슷하여 문제가 없는 것으로 판단된다.[2]

또한 환경부의 환경영향평가항목에 전자기파가 포함됨으로 앞으로 이에 대한 규제가 있을 것으로 예상되므로 전기철도에서도 전자기파에 대한 국내기준 설정이 필요하다.

따라서 전철화 건설전 후 및 운영단계에서도 지속적으로 전자기파 환경을 측정하고 전기철도 건설기준에 이와 관련된 사항을 명시하여 적극 대처하여 장기적으로 전기철도 시설물 주변에서의 전자기파 발생을 최소화 하여야 한다.

참 고 문 헌

- (1) 건설교통부, “국가기간 교통망계획(2000~2019)”, pp:37~39, 1999.
- (2) 한국철도기술연구원, “전철화구간의 전자기파·고조파 영향 및 대책에 관한 연구”, 2002. 1
- (3) 정보통신부, “전자파인체보호기준(고시 제2000-91호)”, 2000. 12. 15
- (4) IEC, “IEC 62236 : RAILWAY APPLICATIONS - ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY”, 2000. 10